4Л

УДК 004.89

О.С. Литвинская, И.И. Сальников
Пензенская государственная технологическая академия, г. Пенза, Россия
los@pgta.ru

Принятие решения по выбору стандарта радиоинтерфейса при проектировании информационной технической системы

В работе рассмотрены основные этапы и критерии задачи принятия решений. Сформирована математическая модель целевого функционала, объединяющего исходные условия, цели решения, критерии и альтернативные варианты получаемого решения. Приводится пример использования положений теории принятия решений для выбора типа радиоинтерфейса при проектировании беспроводной информационной технической системы.

Введение

Математические методы теории принятия решений основаны на представлении знаний в виде некоторых количественных данных, являющихся оценками предпочтений экспертов. Методы различаются способами представления и обработки предпочтений и часто приводят к разным результатам. В связи с этим возникает проблема выбора стратегии и метода решения конкретной задачи. Критерии для выбора метода в каждом случае будут зависеть от количества и качества доступной информации, от принятой постановки задачи и от ее окружения.

Под окружением задачи понимают совокупность факторов внешней по отношению к объекту исследования среды (объект исследования определен на этапе постановки задачи), которые влияют на поведение этого объекта. Степень влияния может быть различной, например, есть задачи, достаточно безразличные к изменению параметров окружения и наоборот; сами изменения могут иметь различный характер (плавные, резкие, качественные и т.д.). Поэтому подход к задачам принятия решения с позиций прикладной математики включает достаточно трудные задачи выбора метода и обоснования полученных результатов [1].

Целью данной работы является применение метода принятия решения на основе целевого функционала к задаче выбора стандарта радиоинтерфейса при проектировании информационной технической системы (ИТС).

Проектирование беспроводных информационных сетей передачи данных сопровождается использованием широкого спектра стандартов передачи цифровых потоков данных по радиоканалам беспроводной сети. Выбор этих средств при проектировании либо модернизации беспроводных сетей в настоящее время выполняется субъективно, определяется знаниями и приверженностями разработчика. Обоснованный выбор радиоинтерфейса на стадии проектирования беспроводной сети имеет существенное значение, так как, в конечном счете, определяет множество технических и экономических характеристик проектируемой ИТС.

Общие вопросы

Общая постановка задачи принятия решений с помощью критериального языка описания выбора формулируется следующим образом.

Пусть X – множество альтернатив, Y – множество возможных исходов, результатов. Предполагается связь между выбором некоторой альтернативы x_iÎ X и наступлением соответствующего исхода y_iÎ $У$. Требуется выбрать наилучшую альтернативу x_i, для которой исход имел бы наилучшую оценку качества. Под качеством на стадии проектирования ИТС здесь понимается удовлетворение основным техническим требованиям системы.

Задачу выбора применительно к области проектирования можно считать задачей в условиях определенности, т.е. нам заранее известны исходы при указанных альтернативах. В этом случае существует однозначное отображение $X \xrightarrow{\varphi} Y$, т.е. реализуется функция $y = \varphi(x)$. Поскольку связь детерминированная, то $f : Y \to R$, т.е. каждый исход можно оценить конкретным вещественным числом R. Функцию f называют критериальной функцией. В этом случае сравнение исходов сводится к сравнению соответствующих им чисел, например в случае максимизации более предпочтительным исходу y_j может быть исход y_i, если $f(y_i) > f(y_j)$.

В случае рассмотрения ряда задач из области проектирования ИТС получим множество частных критериальных функций: $f_k : Y \to R_к$ при $k = 1,2,\ldots,n$. Поскольку речь идет о детерминированной связи между множеством X и множеством Y, то критериальная функция f трансформируется в некоторую функцию J, заданную на множестве X и являющуюся суперпозицией φ и f:

$$J : X \to R,\ J = f \cdot \varphi. \tag{1}$$

Поскольку функция J выполняет однозначное отображение множества исходов на множество вещественных чисел, то ее можно называть целевым функционалом. Если применить метод линейной свертки, основанный на объединении частных критериальных функций в один целевой функционал, то задача выбора может быть описана выражением

$$J(x) = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \cdot f_i(x) \to \max_{x \in X}, \tag{2}$$

где α_i – весовые коэффициенты или показатели значимости отдельных критериальных функций f_i, причем $\forall \alpha_i : \alpha_i > 0; \sum_{i=1}^{n} \alpha_i = 1.$ Более реалистичной часто оказывается ситуация, когда целевой функционал оценивается не одним числом, а интервалом, т.е. работа ведется с векторным отображением:

$$J : X \to R^n,\ J = \{J_1, J_2, \ldots, J_n,\},\ J_i = f_i(\varphi(x)). \tag{3}$$

В результате мы приходим к распространенной в приложениях многокритериальной модели принятия решений или задаче многокритериальной оптимизации вида

$$J_i(x) \to \max_{x \in X},\ i = 1,\ldots,n, \text{ т.е. } X \subset R^n. \tag{4}$$

Последнее уточнение указывает на то, что все альтернативы параметризованы и каждому из решений соответствует точка $x \in R^n, x = (x_1, \ldots, x_n)$.

Методы принятия решения

Для решения задач многокритериального выбора в условиях неопределенности предложено множество математических методов [2]. Одни из них, например, методы прикладной теории принятия решений, различаются способом представления и обработкой экспертных знаний. Подход к проблеме выбора основывается на отношениях порядка среди альтернатив (классическая модель принятия решений, в которой каждой альтернативе ставится в соответствие некоторое число) или на отношениях включения (поведенческая модель, основанная на принадлежности альтернатив к некоторому множеству). Среди методов классического подхода наибольшей универсальностью и теоретической обоснованностью обладают методы теории полезности, методы теории нечетких множеств и метод анализа иерархий.

Теория многомерной полезности позволяет для задач в условиях риска и неопределенности получить функцию многомерной полезности, максимальное значение которой соответствует наиболее предпочтительному варианту. Многомерная функция полезности обычно получается как аддитивная или мультипликативная комбинация одномерных функций, которые строятся на основании опроса экспертов и позволяют провести ранжирование возможных исходов без взаимного сравнения альтернатив. При этом делается допущение о взаимной независимости критериев по полезности. Процедура построения функции полезности требует привлечения значительных объемов информации и является достаточно трудоемкой. Достоинством этого подхода является возможность оценки любого количества альтернативных вариантов с использованием полученной функции. В случае неустойчивой исходной информации применение методов теории полезности становится малоэффективным.

Теория нечетких множеств, предложенная Л. Заде, позволяет представить знания о предпочтительности альтернатив по различным критериям с помощью нечетких множеств. Формирование нечетких множеств является более простой и менее трудоемкой процедурой, чем построение функций полезности. Для выявления лучших вариантов по совокупности критериев необходимо иметь в распоряжении информацию о важности критериев и типах возможных отношений между ними. Теория нечетких множеств предоставляет различные средства для учета взаимных отношений критериев: использование весовых коэффициентов, нечеткие отношения предпочтения, нечеткий логический вывод на правилах определения лучшей альтернативы и т.д. Широкие возможности представления знаний и простота вычислительных процедур делают эту теорию привлекательным инструментом для создания систем поддержки принятия решений. При этом требуется теоретическое и экспериментальное исследование получаемых системами результатов с целью проверки их адекватности, согласованности, надежности и т. д.

Метод анализа иерархий, предложенный Т.Л. Саати, основан на парных сравнениях альтернативных вариантов по различным критериям с использованием n-бальной шкалы и последующим ранжированием набора альтернатив по всем критериям и целям. Взаимоотношения между критериями учитываются путем построения их иерархии и применения парных сравнений для выявления важности критериев. Метод отличается простотой и дает хорошее соответствие интуитивным представлениям. Главным недостатком этого подхода является большое количество требуемой экспертной информации, которая представляет собой множество оценок предпочтительности, полученных в процессе парного сравнения альтернатив и критериев. Метод имеет ограничение на количество одновременно сравниваемых альтернатив. Рациональный выбор считается, если число объектов выбора не превышает 7 ± 2. Другие, например, количественные методы прогнозирования характеризуются либо исследованиями

статистической зависимости, либо в соединении и усреднении мнений экспертов в данной области, либо прогнозированием экспертов по рассматриваемой проблеме, либо базируются на оценке только одного параметра целевого функционала, позволяющего определить гарантированно плохие варианты выбора.

Анализируя рассмотренные методы, попробуем совместить достоинства методов теории полезности (возможность оценки любого количества альтернативных вариантов), теории нечетких множеств (учет взаимных отношений критериев) и количественных методов в виде метода целевого функционала.

Метод целевого функционала

С учетом обзора существующих методов был разработан метод принятия решения по выбору средств реализации специализированных устройств при проектировании ИТС, основанный на построении целевого функционала (ЦФ). Функционал объединяет в себе критериальные функции и весомые параметры некоторой зависимостью. Метод характеризуется последовательностью шагов:

1) для выбранной предметной области формируются математические модели: параметров в виде множества информационных параметров, параметров сигналов и параметров алгоритма обработки сигналов $W = \{w_1, w_2, .., w_n\}$;

2) множество параметров W является разнородным, поэтому выполняется нормирование всех параметров по их максимальным значениям $\gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, .., \gamma_n\}$, при этом получаются безразмерные коэффициенты K_i параметров;

3) формируются критериальные функции математической модели $f^{(\text{M})}(K_i)$. Наиболее часто применяемый способ замены векторного критерия оптимальности на скалярный основан на линейном объединении коэффициентов:

$$f^{(\text{M})} = \sum_{i=1}^{n} g_i K_i \quad , \tag{5}$$

где g_i – весовой коэффициент. Весовые коэффициенты рассматриваются как показатели относительной значимости параметров. При наличии существенно разнохарактерных коэффициентов бывает сложно указать их приоритет. Поэтому выделяются существенные коэффициенты параметров K_i^S, а остальным K_i задается одинаковый приоритет;

4) формируется целевой функционал ЦФ $J^{(\text{M})}(x)$, который определяет поведение модели в зависимости от критериальных функций $f^{(\text{M})}$ и существенных коэффициентов K_i^S:

$$J^{(\text{M})}(x) = J^{(\text{M})}\left\{f^{(\text{M})}, K^S{}_1, K^S{}_2, .., K^S{}_m\right\}; \tag{6}$$

5) выполняется задание альтернативных вариантов реализации специализированных устройств $X^{(\text{M})} = \{X_1, X_2, .., X_L\}$ для проектируемой ИТС;

6) для аналитической модели ЦФ выполняется разделение области значений на зоны. Каждая зона соответствует одной из альтернатив средств реализации. Множество вариантов реализации X определяет совокупность зон целевого функционала $\Delta J_{X_i}^{(\text{M})}$:

$$\Delta J_X^{(\text{M})} \in \left\{\Delta J_{X_1}^{(\text{M})}, \Delta J_{X_2}^{(\text{M})}, ..., \Delta J_{X_L}^{(\text{M})}\right\}, \tag{7}$$

т.е. каждой зоне целевого функционала $\Delta J_{X_i}^{(\mathrm{M})}$ приписывается соответствующий вариант реализации X_i. Принято равномерное разделение области значений ЦФ на зоны, на L интервалов;

7) выдача рекомендаций по принятию решения. Процесс принятия решения можно записать в виде выражения:

$$X_i^{(R)} = X_i^{(\mathrm{M})} \in \left\{ X_1, X_2, .., X_L \right\}, \text{ при } J^{(R)}\left(f^{(R)}, K_i^{(S_R)} \right) \in \Delta J_{X_i}^{(\mathrm{M})}, \quad (8)$$

то есть принятие решения формулируется следующим образом: попадание значения рассчитанного, реального ЦФ $J^{(R)}$ в одну из зон альтернатив модели вычислительного процесса $\Delta J_{X_i}^{(\mathrm{M})}$ и будет определять вариант реализации $X_i^{(R)}$.

Выбор стандарта радиоинтерфейса

Одним из этапов проектирования беспроводных информационных сетей передачи данных является определение стандарта передачи цифрового потока данных по радиоканалам беспроводной сети. Выбор стандарта радиоинтерфейса при проектировании либо модернизации беспроводных сетей в настоящее время выполняется субъективно, определяется знаниями и приверженностями разработчика. Обоснованный выбор стандарта радиоинтерфейса на стадии проектирования беспроводной сети имеет существенное значение, так как в конечном счете определяет множество технических и экономических характеристик проектируемой ИТС. Сайт [4] содержит информацию по значениям параметров перелачи данных для различных стандартов: *IEEE* 802.11 (сеть типа *Wi-Fi*), *IEEE* 802.16 (сети типа *Wi-Max*, *Wi-Bas*), *IEEE* 802.15 (сеть типа *Bluetooth*).

Процесс выбора состоит в следующем:

1. Определяются параметры проектируемой ИТС, выполняется их нормирование. Все объективные параметры беспроводной сети разделим на три группы: информАционные, параметры алгоритмов преобразования данных и параметры канала связи.

К *информационным параметрам* отнесем следующие:

– время распространения пакета данных T_p [мс] по сети от источника до приемника. Максимальное время распространения задаётся временем жизни пакета, которое составляет $T_{p,\max}$ = 256 с. Номинальное время передачи в среднем – $T_{p,0}$ = 80 мкс, так как при большем времени передачи пакета возникает проблема ожидания данных при интенсивном обмене. Нормированный коэффициент времени распространения пакетов будет иметь значение:

$$K_T = T_{p,0} / T_{p,\max}; \quad (9)$$

– размер пакета R_p [бит] определяется типом используемого оборудования. Зачастую исходный пакет, например *TCP/IPv4* или *UDP* максимальным размером $R_{p,\max}$ = 65536 бит делится на меньшие для удобства обработки и передачи по сети. Номинальный рекомендуемый размер пакета – $R_{p,0}$ = 8 кбит. Минимальный размер пакета $R_{p,\min}$ определяется протоколом, например, для *TCP/IPv4* размер минимального заголовка равен 160 бит, но зачастую помимо заголовка передаются и параметры, тогда размер минимального пакета равен 192 битам, а для пакета протокола *UDP* размер заголовка в минимальном исполнении равен 32 битам, а с параметрами – 64 бита. Коэффициент размера пакета будет определяться отношением:

$$K_R = R_p / R_{p,\max}; \quad (10)$$

– количество отправленных пакетов $N_{p,O}$ определяется экспериментально. Для определения коэффициентов информационных параметров разработано программное обеспечение (ПО), моделирующее работу радиосети для открытой местности малой плотности застройки. В результате моделирования выявлено среднестатистическое значение коэффициента отправленных пакетов, равное K_O = 0,75, остальная часть отправленных пакетов теряется [3];

– расчетное количество пакетов $N_{p,R}$, необходимое для передачи данных. Определяется исходя из объема передаваемых данных N_D и максимального размера пакета $R_{p,\max}$ = 64 кбит:

$$N_{p,R} = \frac{N_D}{65536 - R_{p,\min}}; \tag{11}$$

– количество принятых пакетов $N_{p,I}$ определяется экспериментально. Принятыми пакетами считаются пакеты, доставленные и достоверные. Используя разработанное ПО, промоделирована работа радиосети и выявлено среднестатистическое значение коэффициента принятых пакетов K_I = 0,9. Если значение коэффициента ниже 0,5, то радиоканал работает на повторную передачу пакетов;

– коэффициент достоверности передачи данных:

$$K_r = \frac{N_{p,O}}{N_{p,I}} \le 1; \tag{12}$$

– коэффициент избыточности $K_{изб}$ [бит]. В работе можно использовать относительную избыточность, которая будет определяться отношением количества избыточных разрядов к общему размеру пакета данных.

Параметры алгоритмов преобразования данных. В качестве алгоритмов преобразования данных следует учитывать алгоритмы шифрования. При этом в качестве параметров в работе рассматривается трудоемкость алгоритмов. За базовый был принят алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ) как наиболее часто используемый. Эвристически разделим алгоритмы обработки сигналов на классы:

– класс *A* – базовый алгоритм БПФ, который реализуется программно и используется процедура «бабочки». Трудоемкость данного алгоритма примем равной $K_{ал}$ = 1;

– класс *B* – алгоритм широкополосной модуляции (*DSSS*). Он характеризуется совместной реализацией: аппаратной и программной. Аппаратно реализуется фильтрация сигнала и подстройка автоматической регулировки усиления. Программная реализация выполняет алгоритм *DSSS*-модуляции. Эвристически примем коэффициент $K_{ал}$ = 0,8;

– класс *C* – совместное использование классов *A* и *B*. Для этого случая примем $K_{ал}$ = 1,2, так как дополнительную сложность программной реализации алгоритму добавляет подпрограмма выбора оптимума при падении вероятности доставки пакета ниже 50%. При такой ситуации выполняется принудительный повтор отправки пакетов, т.е. один пакет отправляется сразу 2 – 3 раза, что ведет за собой потерю скорости.

В качестве *параметров сигналов* выделены следующие:

– параметр, учитывающий условия эксплуатации $K_Э$. Выбирается в соответствии с условиями эксплуатации прохождения радиосигнала: максимальное значение равно 1, это для космоса и открытых пространств. Для прочих случаев рассчитывается либо выбирается из эмпирической табл. 1.

– параметр формирования выходных сигналов определяется чипом радиоблока. Номинальное значение параметра K_{ch} = 1, а расчетное определяется как отношение

эффективной скорости передачи данных и скорости предусматриваемой по стандарту. Значение коэффициента K_{ch} принимается равным согласно материалам сайта [4].

Таблица 1 – Коэффициенты радиопрозрачности среды

Условия эксплуатации	Коэффициент радиопрозрачности среды
Для города со средней степенью застройки	0,7 ÷ 0,8
Для деревни при условии поднятия антенны или источника выше уровня зданий	0,8 ÷ 1
Для железобетонных конструкций	0,1÷ 0,5

– коэффициент отношения сигнал/шум $K_{S/N}$;

– параметр, учитывающий тип антенны и расположение приёмника относительно антенны. Рассчитывается как отношение текущего напряжения на антенне $U_{\text{ан}}$ и минимально необходимое напряжение на антенне для приёма информации $U_{\text{ан},\min}$. Было выявлено, что минимальное значение напряжения для аппаратуры *Wi-Fi* при отсутствии внешних помех для переключения детектора передачи соответствует $U_{\text{ан},\min} = 2 \div 3$ мкВ. Коэффициент параметра антенны $K_{\text{ан}} = U_{\text{ан}} / U_{\text{ан},\min}$.

Нормированные параметры в виде безразмерных коэффициентов K_i составляют множество:

$$K_i = \{K_T, K_R, K_O, K_I, K_r, K_{\text{ал}}, K_{ch}, K_Э, K_{S/N}, K_{\text{ан}}\}. \quad (12)$$

2. Согласно методу выбора [1] определяются аналитические зависимости параметров и нормированных коэффициентов этих параметров. Аналитические выражения для каждого коэффициента K_i определяются экспертами. В результате были выявлены следующие зависимости:

– коэффициенты отправленных и принятых пакетов, используемые для определения оптимальной нагрузки сети объединим в виде выражения:

$$F_P = \frac{K_I}{K_O} \cdot K_R; \quad (13)$$

– выразим эффективный объем передаваемых данных выражением:

$$D_{эфф} = N_{P,O} \cdot (R_P - R_{P,\min}) \cdot N_{P,I}; \quad (14)$$

– нагрузку на сеть передачи данных представим зависимостью:

$$D_N = K_O \cdot K_R; \quad (15)$$

– совокупность параметров и коэффициентов, влияющих на передачу информационных сигналов, описывается выражением:

$$F(t) = \frac{K_I}{K_O} \cdot e^{\left(\frac{t}{T} \cdot \frac{D_{эфф}}{D_N} \cdot K_o \cdot \frac{K_T}{K_{\text{ан}}}\right)} \cdot K_{ch} \cdot \left|\lg K_{S/N}\right|, \quad (16)$$

где t – время передачи, T – время работы канала связи.

Целевой функционал, сформированный этими зависимостями, имеет следующий вид

$$F_{rez}(t) = S_1 F_P + S_2 F(t) K_Э K_{ch} K_T, \quad (17)$$

где S_i – весовые коэффициенты. Коэффициент S_1 определяет вес требований надёжности связи радиоинтерфейса, а коэффициент S_2 определяет вес требования к скорости передачи данных. Суммарное значение параметров S_1 и S_2 не превышает 1.

Принятие решения для многокритериальной модели выполняется в два этапа. На первом этапе определяются условия эксплуатации, учитывается количество передаваемых пакетов. Формируется функция (16). Второй этап характеризуется выбором стандарта радиоинтерфейса по ЦФ (17). Область допустимых значений функционала делится на ряд интервалов, характеризующих различные стандарты радиоинтерфейсов. Вариант радиоинтерфейса определяется по попаданию значения ЦФ, рассчитанной с использованием реальных значений параметров, в интервал значений, соответствующих типу радиоинтерфейса.

Заключение

Обоснованный выбор радиоинтерфейса на стадии проектирования беспроводной сети имеет существенное значение, так как, в конечном счете, определяет множество технических и экономических характеристик проектируемой ИТС. В данной статье описывается метод, основанный на формировании функционала, включающего в себя разнородные параметры и функции исходных данных, используемых алгоритмов обработки данных, а также требования к проектируемой ИТС. Особенности используемых параметров, влияние их на выбор стандарта радиоинтерфейса, определяются экспертами. Разработанный метод позволяет на количественной основе объединить знания экспертов и реализовать объективный выбор стандарта радиоинтерфейса при проектировании ИТС.

Литература

1. Литвинская О.С. Обобщенная структура принятия решения для метода выбора средств реализации проектируемой информационной технической системы / О.С. Литвинская, И.И. Сальников // Искусственный интеллект. – 2010. – № 4. – С. 404-414.
2. Петровский А.Б. Теория принятия решения : учебник для студентов высших учебных заведений / Петровский А.Б. – М : Издательский центр «Академия», 2009. – 400 с.
3. Режим доступа : http://www.lanquest.com/labs.
4. Режим доступа : http://www.intel.com/assets.
5. Режим доступа : http://jre.cplire.ru/koi/dec02/8/text.html.

Literatura

1. Litvinskaja O.S. Iskusstvennyj intellektl. №4. 2010. S 404-414
2. Petrovskij A.B. Teorija prinjatija reshenija: uchebnik dlja studentov vysshih uchebnyh zavedenij. M.: Izdatel'skij centr “Akademija”. 2009. 400 s.
3. http://www.lanquest.com/labs
4. http://www.intel.com/assets
5. http://jre.cplire.ru/koi/dec02/8/text.html

О.С. Литвинська, І.І. Сальников

Прийняття рішення щодо вибору стандарту радіоінтерфейсу під час проектування інформаційної технічної системи

У роботі розглянуті основні етапи та критерії прийняття рішень. Сформована математична модель цільового функціонала, що об’єднує початкові умови, цілі рішення, критерії й альтернативні варіанти отримуваного рішення. Наводиться приклад використання теорії прийняття рішень для вибору типу радіоінтерфейсу під час проектування безпровідної інформаційної технічної системи.

O.S. Litvinskaya, I.I. Salnikov

Decision-Making on Choosing the Radio Interface Standard at Designing an Information Technical System

The paper deals with the main stages and criteria of the decision-making problem. The authors have shaped the mathematical model of the criterion functional combining the reference conditions, the solution targets, the obtained solution criteria and alternate variants. They give the example of using of tenets of the decision theory for choosing radio interface type of designing wireless information technical system.

Статья поступила в редакцию 22.06.2011.